

光伏水泵系统组成及工作原理

光伏水泵系统组成及工作原理

系统组成及工作原理

1. 1 光伏水泵系统的结构图

由图 1 可知，系统利用太阳电池阵列将太阳能直接转变成电能。经过 DC / DC 升压，和具有 TMPPT 功能的变频器后输出三相交流电压驱动交流异步电机和水泵负载，完成向水塔储水功能。其中主要包括 4 部分：太阳电池阵列；具有 TMPPT 功能的变频器；水泵负载；储水装置。

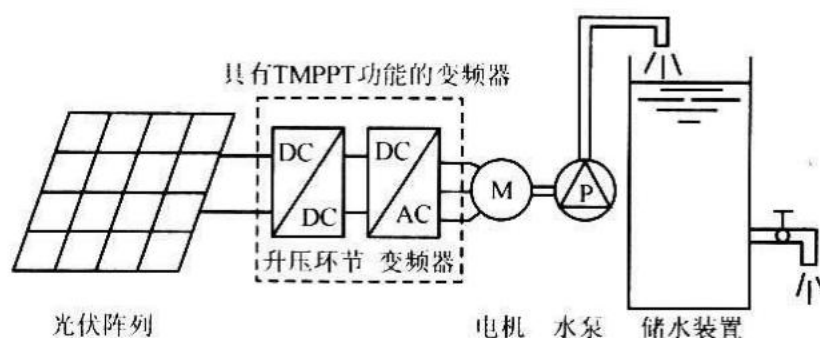


图 1 系统的结构图

1. 2 变频器主电路及硬件构成

本系统所采用的主电路及硬件控制框图如图 2 所示。主电路 DC / DC 部分采用性能优越的推挽正激式电路进行升压；DC / AC 部分采用三相桥式逆变电路。主功率器件采用 ASIPM(一体化智能功率模块)PS12036，系统控制核心由 16 位数字信号控制器 dsPIC30F2010 构成。外围控制电路包括阵列母线电压检测和水位打干检测电路。系统首先通过初始设置的工作方式和 PI 参数工作，然后由 MPPT 子程序实时搜索出的电压值作为内环 CVT 的给定，通过 PI 调节得到工作频率值，计算出 PWM 信号的占空比，实现光伏阵列的真正最大功率跟踪(TMPPT)，并保持异步电机的 V / f 比为恒值。系统将 MPPT 和逆变器相结合，利用 ASIPM 模块自带的故障检测功能进行检测和保护，结构简单，控制方便。

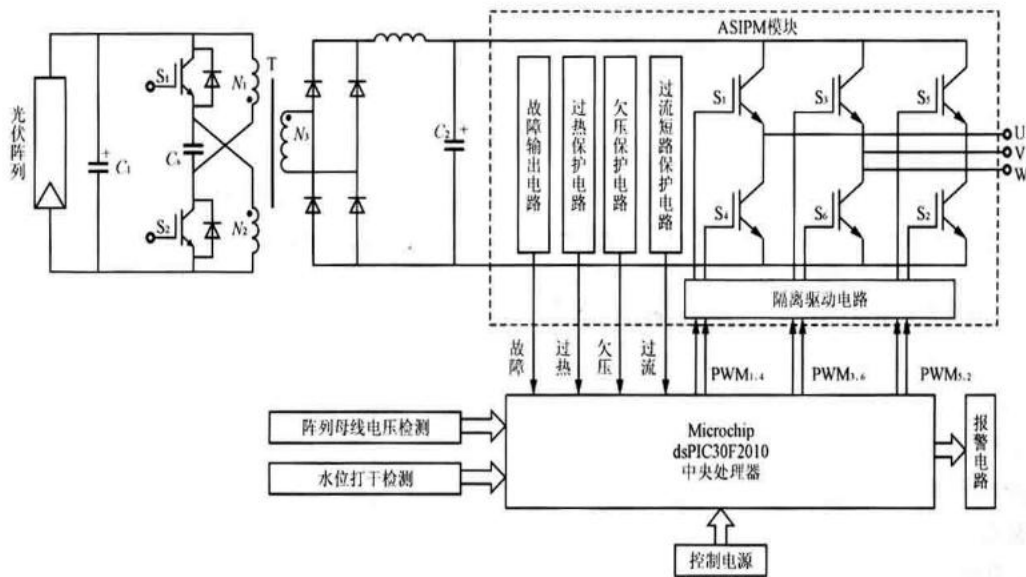


图2 主电路及硬件构成

1. 2. 1 DC / DC 升压电路简述

1. 2. 1. 1 主电路选择

对于中小功率的光伏水泵来说, 光伏阵列电压大都是低压(24v、36v、48V), 对于升压主电路的选择, 人们一般选择推挽电路, 因为推挽电路变压器原边工作电压就是直流侧输入电压, 同时驱动不需隔离, 因此比较适合输入电压较低的情况。但是偏磁问题是制约其应用的一大不利因素, 功率管的参数差异和变压器的绕制工艺都有可能使推挽电路工作在一种不稳定状态。基于诸多因素的考虑, 本系统采用了结构新颖的推挽正激电路, 此电路拓扑不仅克服了偏磁问题, 而且闭环控制也比较容易(二阶系统)。

1. 2.1.2 推挽正激电路简单分析

推挽正激电路如图 2 所示, 由功率管 S1 及 S2, 电容 C8 和变压器 T 组成, 变压器 T 原边绕组 N1 及 N2 具有相同的匝数, 同名端如图 2 所示。当 S1 及 S2 同时关断的时候, 电容 C8 两端电压下正上负, 且等于阵列电压, 当 S1 开通, S1、N2 和光伏阵列构成回路, N2 上正下负, 同时 C8、N1 和 S1 构成回路, C8 放电, N1 下正上负, 此时的工作相当于两个正激变换器的并联。同理, 当 S2 开通 S1 关断时, 也相当于两个正激变换器的并联。经过理论分析, 推挽正激电路是一个二阶系统, 因此闭环控制简单, 同时输出滤波电感和电容大大减小。

1.2.2 dsPIC30F2010 简单介绍

Microchip 公司通过在 16 位单片机内巧妙地添加 DSP 功能, 使 Microchip 的 dsPIC30F 数字信号控制器(DSC)同时具有单片机(MCU)的控制功能以及数字信号处理器(DSP)的计算能力和数据吞吐能力。因为它具有的 DSP 功能, 同时具有单片机的体积和

价格，所以本系统采用此芯片作为控制器。此芯片主要适用于电机控制，如直流无刷电机、单相和三相感应电机及开关磁阻电机；同时也适用于不间断电源(UPS)、逆变器、开关电源和功率因数校正等。dsPIC30F2010 管脚示意如图 3 所示。

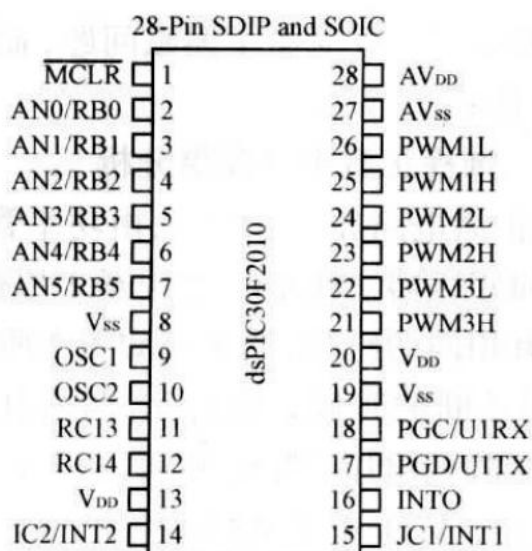


图 3 dsPIC30F2010 引脚图

1. 2.2. 1 主要结构

- 12KB 程序存储器；
- 512 字节 SRAM；
- 1024 字节 EEPROM；
- 3 个 16 位定时器；
- 4 个输入捕捉通道；
- 2 个输出比较 / 标准 PWM 通道；
- 6 个电机控制 PWM 通道；
- 6 个 10 位 500ksps SA / D 转换器通道。

1. 2. 2. 2 主要特点

- A / D 采样速度快且多通道可以同时采样；
- 6 个独立 / 互补 / 中心对齐 / 边沿对齐的 PWM；
- 2 个可编程的死区；
- 在噪声环境下 5V 电源可正常工作；
- 最低工作电压 3V；
- A / D 采样和 PWM 同期同步。

2 光伏水泵最大功率点跟踪(MPPT)设计

2.1 常规恒定电压跟踪(CVT)方式的特点与不足

CVT 方式可以近似获得太阳能电池的最大功率输出，软件上处理比较简单。但实际上日照强度和温度是时刻变化的，尤其是在西部地区，同一天中的不同时段，温度和日照强度变化都相当大，这些都会引起太阳能电池阵列最大功率点电压的偏移，其中尤以温度的变化影响最大。在这种情况下，采用 CVT 方式就不能很好地跟踪最大点。

2.2 TMPPT 的原理与实现

为克服 CVT 方式弊端，提出了 TMPPT(TrueMaximum Power Point Tracking)概念，其意思是“真正的最大功率跟踪”控制，即保证系统不论在何种日照及温度条件下，始终使太阳能电池工作在最大功率点处。由于逆变器采用恒 V/f 控制，故水泵电机的转速与其输入电压成正比，因此，调节逆变器的输出电压，就等于调节了负载电机的输出功率。故本系统采用 TMPPT 方式使太阳能电池尽可能工作在最大功率点处，为负载提供最大的能量。

由太阳能电池阵列的特性曲线(见图 4)可知，

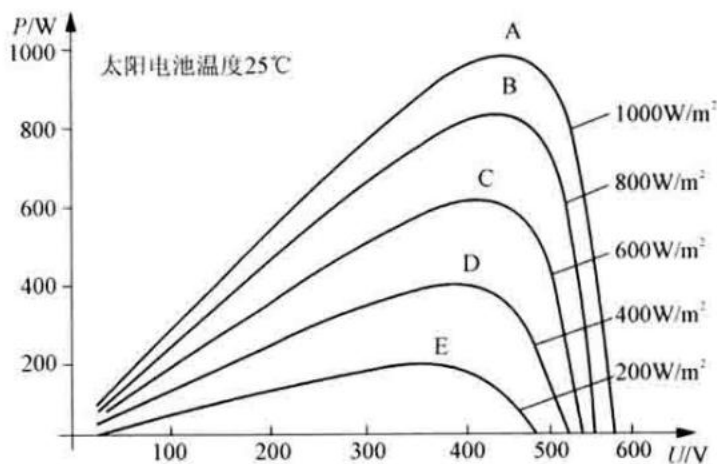


图 4 太阳能电池的特性曲线

在最大功率点处， $dP/dv=0$ ，在最大功率点的左侧，当 $dP/dv>0$ 时， P 呈增加趋势， $dP/dv<0$ 时， P 呈减少趋势；但在最大功率点的右侧，当 $dP/dv>0$ 时， P 呈减少趋势， $dP/dv<0$ 时， P 呈增加趋势。据此可在实际运行时根据 $P-V$ 的变化关系确定最大功率点。

图 5 为 TMPPT 型最大功率点跟踪控制框图。系统的输入指令值为 0，反馈值为 dP/dV ，假定 $Z3$ 状态为 +1，则 U_{sp}^* 指令电压增加，经 CVT 环节调整，系统的输出电压 V 跟踪 U_{sp}^* 增加，采样输出电流 I ，经功率运算环节和功率微分环节，获得 dP/dV 值，如 $dP/dV>0$ ，则 $Z1$ 为 +1， $Z2$ 为 +1， $Z3$ 为 +1， U_{sp}^* 指令电压继续增加。如 $dP/dV<0$ ，

则 Z_1 为-1, Z_2 为-1, Z_3 为-1, U_{sp}^* 指令电压开始减小。稳定工作时,系统在最大功率点附近摆动,如果摆动幅度越小,则精度越高。在具体工作时,为了防止搜索方向的误判断,软件中设置了搜索限幅值,使系统的工作可靠性进一步提高。由于本系统中采用的 ASIPM 模块带有电流检测功能,故在硬件设计上可以省去电流检测电路,节约了成本,并进一步优化了外围电路。

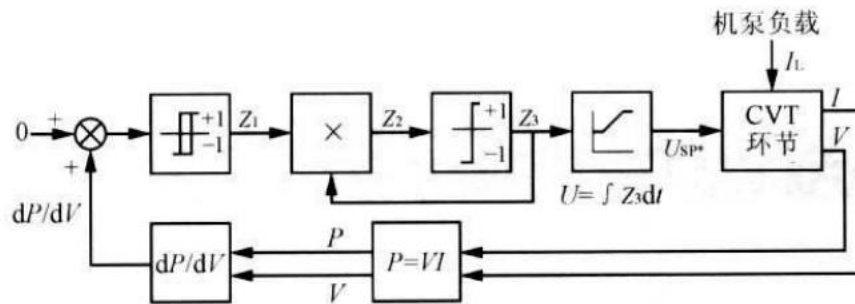


图 5 TMPPT 型最大功率点跟踪控制框图

3 系统的保护功能设计

1)过流和短路保护功能 由于 ASIPM 的下臂 IGBT 母线上串有采样电阻,所以通过检测母线电流可以实现保护功能。当检测电流值超过给定值时,被认为过流或短路,此时下桥臂 IGBT 门电路被关断,同时输出故障信号,dsPIC 检测到此信号时封锁 PWM 脉冲进一步保护后级电路。

2)欠压保护功能 ASIPM 检测下桥臂的控制电源电压,如果电源电压连续低于给定电压 10ms,则下桥臂各相 IGBT 均被关断,同时输出故障信号,在故障期间,下桥臂三相 IGBT 的门极均不接受外来信号。

3)过热保护功能 ASIPM 内置检测基板温度的热敏电阻,热敏电阻的阻值被直接输出,dsPIC 通过检测其阻值可以完成过热保护功能。

以上保护是利用了 ASIPM 自身带有的功能,无须外加电路,进一步简化了硬件电路设计。系统除了具有上述保护功能外,还具有光伏水泵系统特有的低频、日照低、打干(自动和手动打干)等保护功能。对于泵类负载,当转速低于下限值时,光伏阵列所提供的能量绝大部分都转化为损耗,长期低速运行,会引起发热并影响水泵使用寿命,因此,本系统设计了低频保护,对水泵来说,当液面低于水泵进水口时,水泵处于空载状态,若不采取措施,长时间运行则会损坏润滑轴承,而本系统为户外无人值守工作方式,故系统为了增加检测可靠性,采用了自动打干和手动打干两种识别方式,其中,自动打干是根据系统输出功率和电机工作频率来进行判别;手动打干则是通过水位传感器识别当前水位高低来实现的。由于低频、日照低、打干等功能都是由软件来完成,不须增加硬件电路,故系统结构简单。